

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Zařízení pro dopravu koksu do nákladního vozu

Equipment for transportation of coke to truck trail

Student:

Jiří Čerbák

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Jiří Čerbák

Studijní program:

B3907 Energetika

Studijní obor:

3907R012 Energetika 21.století

Téma:

Zařízení pro dopravu koksu do nákladního vozu
Equipment for Transportation of Coke to Truck Trailer

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Koks je velmi významnou energetickou surovinou s velmi specifickými vlastnostmi jak z hlediska energetiky, tak z hlediska aplikovaných procesních a dopravních zařízení.
V úvodní části práce zpracujte rešerši na téma kvalitativní a kvantitativní posouzení paliv z energetického hlediska.

Hlavním předmětem práce „Zařízení pro dopravu koksu do nákladního vozu“ je realizace vnější a vnitřní části dopravních cest pro transport koksu z roštnic do kamionů.

Doprava koksu je řešena ze dvou výchozích bodů. Ze skluzu roštnic je koks rozdělen klapou buď na expediční pás pro nakládku do vagónů, nebo na dopravník, který transportuje koks na dlouhý vynášecí dopravník. Zpracujte návrh řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. VŠB – TUO, skriptum.

Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. VŠB – TUO, skriptum.

Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení IV. VŠB – TUO, skriptum.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 20. května 2018




.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje Zákon č. 121/2000 Sb., Autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 20. května 2018



.....
podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce: Hlubočická 244, 725 26 Ostrava.

Poděkování

Rád bych poděkoval panu profesoru Jiřímu Zegzulkovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce. Chci poděkovat své rodině za podporu a trpělivost během studia a při psaní této bakalářské práce.

Abstrakt

Koks má nezastupitelnou pozici nejen v energetice, ale hlavně v metalurgii. V současné době se mění způsob, jakým je koks transportován k zákazníkům. Je zde zvyšující se požadavek, aby byl koks transportován nejen pomocí železnice, ale také po cestě nákladními vozy.

V této práci se zabývám návrhem nové dopravní trasy slévárenského koksu na stávajícím koksárenském provozu. Ten řeší jen nakládku tříděného koksu do železničních vagónů. Nová dopravní trasa umožní také nakládku do nákladních automobilů.

Podrobněji se věnuji návrhu pojízdného dopravníku z konstrukčního hlediska.

Klíčová slova

Koks; pásový dopravník; doprava; železnice; nákladní automobily.

Abstract

Coke has a significant position in energetics, especially in metallurgy. The way how coke is transported to customers is changing. Until now the coke has been mainly transported by trains, however currently there is an increasing demand to transport coke by trucks as well. In this thesis I shall suggest a new mode of loading of foundry coke in already existing coke plant. The above mentioned manages loading of coke to train wagons. The new mode of load enables loading to trucks. I shall examine the new draft from point of view constructional in details.

Key words

Coke; belt conveyor; transport; railway; truck.

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Význam symbolu
P	W	výkon
Q	t/hod	dopravované množství
Qi	MJ/kg	výhřevnost
Qv	m ³ /s	objemový dopravní výkon
Qt	t/hod	teoretický hmotnostní výkon
St	m ²	teoretická plocha průřezu
ρ	kg/m ³	hustota
μ		činitel mazání
γ		činitel výkonu

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam zkratky
A	popelovina
apod.	a podobně
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
CH ₄	metan
D-S	diestel-susky
h	hořlavina
hr	hrášek
HTK	hrubá třídírna koksu
H ₂	vodík
JTK	jemná třídírna koksu
KB	koksová baterie
kg	kilogram
kW	kilowatt
kg/m ³	kilogramu na metr krychlový
m	metr
mm	milimetr
MJ	megajoule
m ²	metr čtvereční
m ³	metr krychlový
M ₁₀	množství zrn pod 10 mm v %
m/s	metr za sekundu
M ₄₀	množství zrn nad 40 mm v %
N	newton
N ₂	dusík
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
ot	otáčky
O1	ořech 1
O2	ořech 2
O ₂	kyslík
P	popelovina
PD	pásový dopravník
pr	prach
SLK	slévárenský koks
t	teplota
tzv.	takzvaný
T1	tah v horní větvi pásu
T2	tah ve spodní větvi pásu
t/hod	tun za hodinu
VK	vysokopecní koks
W	obsah vody v palivu
°C	stupeň celsia
°	stupeň

Seznam použitých termínů

Zkratka	Význam zkratky
Hasicí vůz	slouží k hašení koksu po vytlačení z baterie
Koksová baterie	skládá se z koksových komor, slouží k výrobě koksu
Koksová rampa	slouží k dochlazení koksu po koksování
Pásový dopravník	transportuje materiál ve vrstvě na gumovém pásu
Rošt Diestl-Susky	rošt využívající ke své práci principu sférických trojúhelníků

Obsah:

1. ÚVOD	11
2. VÝROBA KOKSU	12
2.1. Obecné vlastnosti uhlí	13
2.2. Koksovací vlastnosti uhlí.....	13
2.3. Složení koksovacího uhlí.....	14
2.4. Vlastnosti vsázky ovlivňující kvalitu koksu.....	16
2.5. Postup výroby koksu	17
2.6. Energetické aspekty výroby koksu	20
3. VLASTNOSTI KOKSU Z HLEDISKA MANIPULACE.....	21
4. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU	22
5. NÁVRH NOVÉ DOPRAVNÍ TRASY	22
6. KONSTRUKCE POJIZDNÉHO DOPRAVNÍKU	24
6.1. Kontrola kapacitního výpočtu dopravníku	25
6.1.1. Teoretická potřebná plocha průřezu náplně.....	25
6.1.2. Kontrola plochy průřezu náplně	26
6.1.3. Objemový dopravní výkon.....	26
6.1.4. Teoretický hmotnostní dopravní výkon	26
6.1.5. Kontrola pásu na hmotnostní dopravní výkon	26
6.2. Kontrolní výpočet hřídele bubnu.....	26
6.2.1. Stanovení reakce v ložiscích	27
6.2.2. Výpočet výslednic vnitřních účinků	29
6.2.3. Kontrola hřídele v kritických místech	29
6.3. Kontrolní výpočet per.....	34
6.3.1. Kontrolní výpočet pera bubnu na otláčení.....	35
6.3.2. Kontrolní výpočet pera bubnu na stříh	36
6.3.3. Kontrolní výpočet pera pojezdu na otláčení	36
6.3.4. Kontrolní výpočet pera pojezdu na stříh	37
6.4. Kontrolní výpočet napínacích šroubů.....	37
6.4.1. Síla F2 a její složky	38
6.4.2. Tíha bubnu a její složky.....	38
6.4.3. Kontrola napínacích šroubů.....	39
6.4.4. Kontrola saní na otláčení.....	41
6.5. Kontrolní výpočet řetězu pojezdu	41
7. ZÁVĚR	48

1. ÚVOD

Koks má svou nezastupitelnou formu nejen v energetice, ale hlavně v metalurgii.

Budeme-li nahlížet na koks jako na palivo, jedná se o relativně levné a ekologické palivo, které je vhodné pro výrobu tepla v domácnostech a teplárnách. Jeho výhřevnost Q_i je 28 MJ/kg. Má nízký obsah škodlivých zplodin hoření a můžeme jej považovat za ekologické palivo.

Otopový koks dělíme dle zrnitosti do těchto kategorií:

Ořech 1 (O1)	zrnitost 40 – 60 mm
Ořech 2 (O2)	zrnitost 20 – 40 mm
Hrášek (hr)	zrnitost 10 – 20 mm
Prach (pr)	zrnitost 0 – 10 mm

V metalurgii je využíván vysokopecní či slévárenský koks. Je to ocelově šedá, tvrdá a silně porózní hmota s výhřevností 29,6 MJ/kg. Vysokopecní koks slouží ve vysokých pecích především jako redukční činidlo a zdroj tepla. Má rovněž funkci nosného a výplňového materiálu, kterým cirkuluje plyn ve sloupci vysokopecní vsázky.

Slévárenský koks je vlastnostmi velice blízký vysokopecnímu koksu. Používá se primárně pro výrobu litiny, ale v současné době se díky svým vlastnostem používá také jako palivo při výrobě izolačních materiálů na bázi čediče. V porovnání s vysokopecním koksem má vyšší pevnost a větší kusovitost. Má vyšší kvalitativní vlastnosti, proto jej lze použít i při výrobě tekutého surového železa. Naopak vysokopecní koks je bez úpravy slévárenského procesu pro výrobu litiny nevhodný.

Metalurgický koks dělíme dle zrnitosti do těchto kategorií:

VK	zrnitost 25 – 90 mm
VK	zrnitost 40 – 90 mm
SLK I	zrnitost + 100 mm
SLK II	zrnitost 70 – 130 mm
SLK III	zrnitost 60 – 90 mm

V současné době je železniční doprava nejrozšířenější způsob transportu koksu k zákazníkům. Roste však poptávka ze strany zákazníků po transportu po cestě, tzn. nákladními vozy. Na to však nejsou všechny koksárenské provozy připraveny, jejich transportní cesty jsou navrženy jen pro nakládku do železničních vagónů.

Cílem mé práce je návrh úpravy a výstavby nové transportní cesty, který umožní nakládku jak do vagónů, tak do nákladních vozů. To obnáší úpravu stávající technologie, stavební úpravy uvnitř budovy třídírny i venkovního prostoru a výstavbu zcela nové technologie, zahrnující manipulátory a ocelové konstrukce. V této bakalářské práci se budu podrobněji zabývat návrhem dopravní trasy a komplexnímu návrhu pojízdného dopravníku.

2. VÝROBA KOKSU

První pokusy o koksování se datují do 17. století, na počátek průmyslové revoluce, kdy byl Hanrym Plattem navržen postup pro zpracování uhlí. Postup byl odvozen od pyrolýzy dřeva. Produkt byl využíván například v potravinářských provozech, jako je pivovarnictví. Výhodou bylo, že takto zušlechtnuté palivo neprodukovalo zplodiny, které by mohly potravinářské výrobky znehodnotit.

Zlom nastal, když v roce 1709 Abraham Darby zjistil, že je koks výborné redukční činidlo při výrobě železa. Uhlí produkuje zplodiny hoření, které jej činí nepoužitelné při výrobě železa. Koks toto omezení odboural, a šlo o jeden z nejdůležitějších objevů, který zrychlil a zlevnil výrobu železa a oceli.

Výroba koksu začíná na úpravě uhlí, kde dochází ke zpracování surového uhlí. Po vytěžení je uhlí nepoužitelné a je třeba jej zbavit hlušiny, která se do uhlí dostává při těžbě a roztřídit jej podle požadované zrnitosti a vlastností.

Uhlí je z dolu dopraveno do hrubé úpravny, kde dochází k prvotnímu třídění. Následuje jemné třídění, kde je uhlí mokrou cestou (prací kapalinou) zbaveno hlušiny v sazečkách, hydrocyklónech apod. Nejjemnější frakce je upravována flotací ve flotačním oleji. Následuje odvodnění uhlí, nejčastěji na sítích, odstředivkách a u nejjemnější frakce hyperbarickými filtry či kalolisy.

U uhlí, které je určeno pro koksování, posuzujeme několik parametrů, které ovlivňují kvalitu výsledného produktu. Říkáme jim koksovací vlastnosti a probíhají v rozmezí teplot 350 – 500 °C.

2.1. Obecné vlastnosti uhlí

Spékavost a plasticita:

Spékavost je schopnost uhlí vytvořit při koksování pevně spečený koks. Jedná se o základní podmínku pro výrobu koksu. Je to výslednice mnoha fyzikálních a chemických dějů, které probíhají v rozmezí teplot 350 – 500 °C. Je to tedy od počátku měknutí uhlí až do tvorby polokoksu. Nejdůležitější podmínkou spékavosti je plasticita uhlí. Plasticita se někdy označuje jako samostatná vlastnost. Některé složky uhlí při zahřívání měknou nebo tají, přičemž smáčejí netající složky. Uhlí, které je jemně pomleto, přechází do polotuhého plastického stavu a tvoří víceméně stejnorodou taveninu. Při větším rozsahu teplot mezi začátkem a koncem plasticity (plastické pásmo) dochází k lepší spékavosti, neboť má uhlí více času k protavení. Důležitým poznatkem je, že uhlí, které bylo skladováno delší dobu – několik měsíců a tím podrobena vnějšímu okysličování, ztrácí svou plasticitu a spékavost.

Dilatace:

Je to jedna z nejdůležitějších vlastností koksovatelného uhlí. Proto je dilatometrická metoda dána normami ISO 23873 a ISO 8264. Podstata zkoušky záleží v tom, že se briketa ze zkoušeného uhlí zahřívá v trubce a její délkové změny v závislosti na teplotě se registrují a vyhodnocují v procentech výšky původní brikety. Vzniklá křivka je charakteristická pro koksovací vlastnosti.

2.2. Koksovací vlastnosti uhlí

Puchnutí:

Uhlí zahřáté do plastického stavu se začíná rozkládat, přičemž vznikají plyny. Bublínky plynů způsobují zvětšování objemu uhlí. Tím po dalším zahřívání a ztuhnutí dostává koks pórovitou strukturu. Volné zvětšování objemu zahříváného uhlí, při němž nevzniká tlak na okolí, se nazývá puchnutí uhlí. Jeho příčinou je tedy plastický stav a současný vývoj plynů. Na rozdíl od dilatace, při které se sleduje průběh objemových změn do teploty cca 500 °C, udává puchnutí konečný stav objemových změn, které se projevují na vytvořeném koksu. Stupeň puchnutí se zjišťuje jako tzv. index puchnutí přesně definovanou zkouškou. Vzorek uhlí se koksuje v kelímku určitých rozměrů nad plamenem za stanovených podmínek. Tvar vzniklého koksového zbytku se porovnává se stupnicí tvarů

očíslovaných 0 až 9 a dělených ještě po polovinách. Nejblíže číslo tvaru stupnice udává index puchnutí.

Smršťování:

Smršťování uhlé hmoty je důležitým jevem probíhajícím v poslední fázi koksování při teplotách nad 500 °C, kdy polokoks přechází na koks. Smršťování, tedy zmenšování objemu již pevné hmoty polokoksu vzniká dalším odplynováním a snižováním obsahu prchavé hořlaviny v polokoksu (5 – 10 %) až na malý zbytek zůstávající v koksu (asi 1 %).

Ve směru vodorovném – tím, že zralý koks odstoupí od stěny komory. Mezi stěnami a koksem vznikne mezera 20 až 30 mm, která umožní vytlačování koksu z komory. Proto se nezralý koks vytlačuje jen velice obtížně a je třeba počkat do doby, kdy dozraje, aby se smršťil. Ve směru svislém – zvětšuje se výška sběrného prostoru pro odchod karbonizačního plynu.

Uvnitř koksové hmoty – v níž pnutí nastávají trhliny, převážně ve směru vodorovném. Tím se koksová hmota rozpadá na podlouhlé kusy. Je-li smršťování velké, je i mnoho trhlín a koks je tenký, tyčinkovitý a snadno se tříští. Velké smrštění je znakem plynového uhlí, které proto dávají typický tyčinkovitý a drobný koks. Koksová uhlí mají malé smrštění, které poskytují koks o velkých kusech.

Smrštění je možno ovlivnit provozními podmínkami, neboť vyšší teplotou a vyšší rychlostí koksování se smrštění zvětšuje. Chceme-li proto vyrábět koks o velkých kusech (slévarenský), používáme při výrobě nižších teplot a širších komor, ve kterých je rychlost koksování menší.

2.3. Složení koksovacího uhlí

Voda:

Obsah vody ve vsázkovém uhlí nemá přímý vliv na vlastní koksovací pochod, protože před vznikem plastického stavu se voda již vypaří. Přesto je obsah vody důležitý.

Příprava uhlí na koksování: mletí a míchání uhlí je při vyšším obsahu vody než 14 % zkomplikováno či v nejhorším případě znemožněno. Je-li uhlí příliš vlhké, dochází k ucpávání zásobníků, mlýnů a dopravních cest.

V případě sypného provozu je hustota vsázky ovlivněna vlhkostí a zrnitostí. Minimum sypné hustoty je při vlhkostech v rozmezí 8 – 10 %. Vyšší vlhkostí se sypná hustota zvyšuje, ale tím dochází ke zhoršování ostatních podmínek.

V pěchovacím provozu je nutné držet vlhkost v úzkém spektru, nejlépe mezi 8 – 12 %, protože při suším nebo vlhčím uhlí nelze upěchovat soudržný hranol.

Při vyšší vlhkosti dochází k prodlužování koksovací doby, protože část přivedeného tepla odpařuje vodu. Udává se, že zvýšení vlhkosti o 1 % prodlužuje dobu koksování o 2 %, což je zhruba 0,3 – 0,4 hodiny. Zároveň se s vyšší vlhkostí snižuje i rychlost koksování.

Popel:

Obsah a složení popelovin má na koksovací pochod jen malý vliv. Koksováním se popeloviny uhlí mění málo, zůstávají tedy zkoncentrovány v koksu.

Složení popele má význam u vysokopecního koksu, neboť popel koksu se ve vysokých pecích převádí přísadou vápence do tekuté strusky. V tomto případě je však důležitější, dodržování rovnoměrné popelnatosti, výkyvy způsobují ve vysokopecním provozu potíže.

Hořlavina uhlí:

Hořlavina uhlí představuje vlastní uhelnou hmotu bez popelovin a vody. Je tvořena hlavně uhlíkem, vodíkem, kyslíkem a malým množstvím dusíku a síry. Obsah jednotlivých prvků v hořlavině (elementární složení) je charakteristický pro každý druh uhlí. Z koksárenského hlediska je po nás důležité chování hořlaviny při zahřívání bez přístupu vzduchu (koksování). Z tohoto hlediska dělíme hořlavinu na prchavou, tj. ta, která uniká při koksování jako plyny, a neprchavou, což je koksový zbytek.

Výhřevnost ani spalné teplo nemají na koksovací proces význam. Důležité jsou však při tepelných a energetických bilancích koksování. Nejvyšší výhřevnosti Q_i dosahují středně prouhelněná uhlí a to až 35 MJ/kg. U běžných vsázek je to okolo 33,5 MJ/kg.

Síra:

Obsah síry v uhlí je důležitý pro jakost koksu a koksárenského plynu. Hlavní část síry v uhlí je jak chemicky vázána v uhelné hmotě, tak přimísena k uhlí ve formě sirníků. Tato síra je spalitelná a počítá se proto k hořlavině uhlí. Při spalování paliv se z ní tvoří kysličník siřičitý, který je dráždivý, zdraví škodlivý a korozivní. Při použití koksu ve vysokých pecích přechází síra z koksu do surového železa, kde je škodlivou složkou a musí se proto převádět

do strusky přísadou vápence. Vyšší obsah síry snižuje výkon pecí. Při koksování přechází do koksu zhruba 70 % síry.

Fosfor:

Fosforu je v uhlí 0,02 až 0,12 %. I přes malé množství se jedná o významnou složku v uhlí z hlediska koksování. Při koksování přechází fosfor do popelovin koksu. Pro výrobu určitých druhů železa je nutný nízký obsah fosforu (pod 0,03%) v koksu. Obsah fosforu v uhlí nelze snížit v úpravně uhlí, používá se proto pro koksování uhlí s nízkým obsahem fosforu.

2.4. Vlastnosti vsázky ovlivňující kvalitu koksu

Zrnitost:

Zrnitost vsázkového uhlí se zjišťuje prosevem průměrného vzorku na sítích o různé velikosti štěrbin a může být vyjádřena několika způsoby. V provozní praxi se běžně udává množství podílu pod 3 mm, jehož má být v provozu se sypanou vsázkou 75 – 85 %, s pěchovanou vsázkou více než 90 %. Čím méně největších zrn uhlí obsahuje, tím je mleto jemnější, čím méně nejjemnějších zrn uhlí obsahuje, tím je mleto šetrnější.

Zrnitost uhlí má vliv na

- provozní podmínky při obsazování,
- sypanou hustotu vsázky,
- průběh koksování a jakost koksu.

Zrnitost a vlhkost uhlí mají vliv na kluznost uhlí při vypouštění ze zásobníků. Jemné a vlhké uhlí se obtížně vypouští a dávákuje. Z takového uhlí se nedá upěchovat soudržný hranol. Větší zrna se při plnění zásobníků snadno odlučují ze směsi a působí nestejnomyěrnost koksu.

Zrnitost má také značný vliv na průběh koksování a jakost koksu. Obecně platí, že zrno větší než 5 mm je ve vsázce škodlivé, neboť zhoršuje spékání a homogenitu plastického pásma a zvyšuje trhlinatost koksu. Stejně i příliš malé zrno pod 0,2 mm má horší koksovací schopnost. Proto je důležité šetrné a kontrolované mletí, které omezuje nejvyšší a nejnižší podíly.

Hustota:

Hustota vsázky se vyjadřuje hmotností suchého uhlí (kg) obsaženého v 1 m³ prostoru komory. Suché uhlí se uvádí proto, že se jím určuje výtěžek koksu. Voda má však nepřímý vliv, protože působí na hustotu vsázky. Závislost sypné hustoty na obsahu vody se výrazně projevuje v provozu se sypanou vsázkou, současně s vlivem zrnitosti. Sypná hustota zde bývá 700 – 750 kg/m³. Minimum sypné hustoty je při vlhkosti 8 – 10 %. Čím je uhlí jemnější mleto, tím má menší sypnou hustotu.

2.5. Postup výroby koksu

Koksovatelné uhlí je dopraveno do koksovny, kde je skladováno v zásobnících či na venkovní skládce. Tato část koksovny je tzv. uhelná služba. Tam dochází nejen ke skladování uhlí, ale i k jeho mísení, mletí a homogenizaci. Dle vlastností uhlí se mele vsázka nejčastěji na zrnitost 3 – 5 mm. Samotná vsázka se mísí z několika druhů uhlí na základě laboratorních vlastností jednotlivých druhů uhlí. Běžně dochází k mísení 4 – 6 druhů uhlí. To zaručuje konstantní parametry koksu. Mísení druhového uhlí probíhá v mísící stanici.

Namleté a zhomogenizované uhlí je dopravováno ze zásobníků ke koksování do koksárenských baterií. Existují dva způsoby přípravy vsázky.

Sypaná vsázka:

Je to starší způsob přípravy vsázky. Spočívá v sypání třemi až pěti otvory v klenbě koksovací komory z plnicího vozu, jenž popojíždí po stropě baterie. Sypná hustota suchého uhlí je asi 730 kg/m³.

Pěchovaná vsázka:

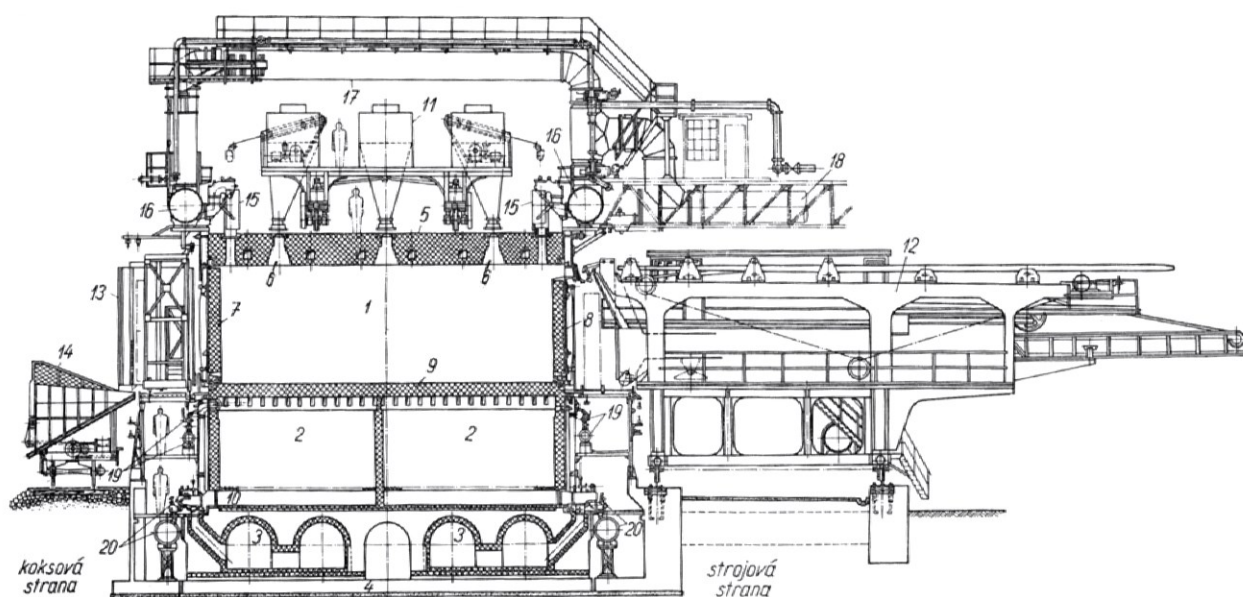
Princip spočívá v přípravě uhelného hranolu mimo prostor pecí a je vsunut do komory ze strany. Pěchovací zařízení je spojeno s výtlačným strojem, který jezdí vedle baterie. Pěchováním dosáhneme zhuštění vsázky na sypnou hustotu asi 1.000 kg/m³.

Koksárenská baterie obsahuje desítky komor, z níž každá má nejčastěji šířku 400 – 450 mm a může dosahovat výšky až 7 m. Nejběžnější délky komor jsou 13 – 15 m.

Zahříváním za nepřístupu vzduchu nastává rozklad uhlí. Produkty karbonizace jsou různé dle druhu uhlí a použité teploty. Rozlišujeme dva základní druhy karbonizace – nízkoteplotní a vysokoteplotní karbonizace.

Nízkoteplotní karbonizace probíhá do teploty asi 500 °C a vzniklé produkty jsou polokoks, nízkoteplotní dehet a plyn. Polokoks je křehký a obsahuje ještě zhruba 10 % prchavé hořlaviny. Vzhledově připomíná nezralý koks. Při koksování se nízkoteplotní produkty tvoří jako primární produkty karbonizace. Nízkoteplotní karbonizace se dnes využívá jen okrajově.

Vysokoteplotní karbonizace vhodných směsí uhlí, při teplotě asi 1.000 °C a za normálního tlaku se nazývá koksování. Slouží primárně k výrobě různých druhů koksu. Uhlí, které je nasypáno nebo vtlačeno do žhavých komor se začne u stěn ihned zahřívat. Při teplotě do 100 °C dochází k úniku vodní páry a vysoušení uhlí. Při teplotě 250 – 300 °C začíná rozklad uhlí a při teplotě 350 – 400 °C přechází k přechodu uhlí do plastického stavu. U obou stěn vznikají plastická pásma široká 10 – 30 mm, která postupují rychlostí 10 – 20 mm/h ke středu komory. Při teplotě 450 – 500 °C končí plastický stav i hlavní odplynění a tvoří se polokoks, který se při dalším zvyšování teploty odplyňuje a smršťuje, čímž vzniká koks. Ve středu se obě plastická pásma setkávají, ale nespojují se. Vzniká předěl. Koksování se považuje za dokončené, přesahuje-li teplota v předělu 950 °C. Dalším ukazatelem je obsah prchavých látek, který by měl být pro vysokopecní plyn 1 – 1,3 %.



Obr. 52. Řez baterií se strojním zařízením
 1 - koksovací komora; 2 - příčné regenerátory;
 3 - kouřové kanály se základovou deskou 4;
 5 - strop baterie; 6 - plnicí otvory;
 7 - dveře komory na koksové straně;
 8 - dveře komory na strojové straně (se srovnávacími

dviřky); 9 - podlaha komory; 10 - rozdělovací kanál; 11 - plnicí vůz; 12 - výtlačný a srovnávací stroj; 13 - vodící vůz; 14 - hasicí vůz; 15 - stoupačky; 16 - předlohy; 17, 18 - sací potrubí plynu; 19 - přívod topného koksového plynu; 20 - přívod vysokopecního plynu

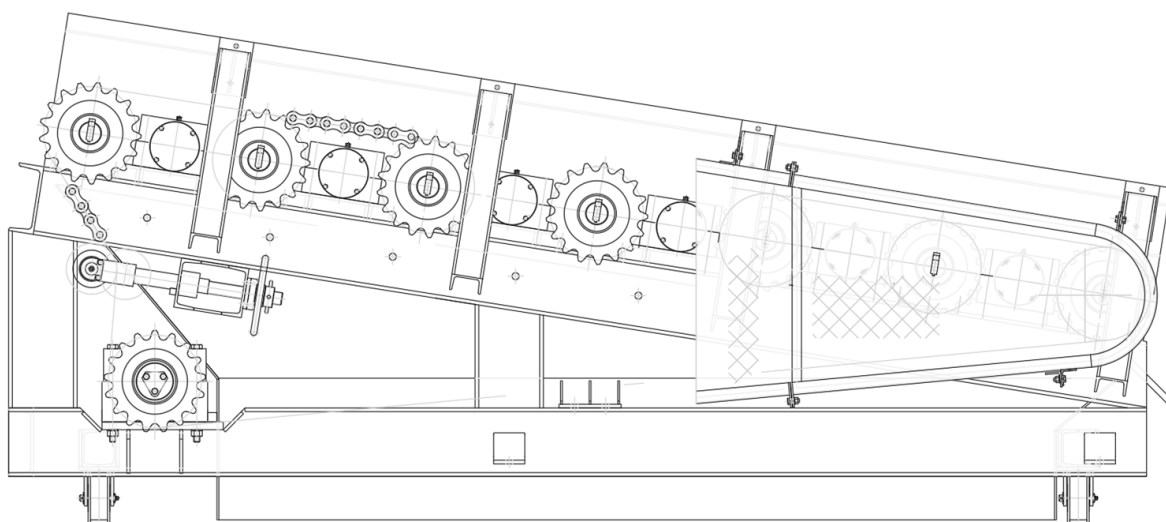
Obrázek 1.1: Řez koksárenskou baterií se strojovým vybavením [1]

Je-li koks hotový, je ze strojové části baterie přistaven výtlačný a srovnávací stroj. Ten obsahuje otevírač dveří a výtlačnou tyč. Na druhé straně baterie je ke komoře přistaven vodící vůz. Dojde k otevření dveří po obou stranách komory. Ze strojové strany dochází k vytlačení koksu výtlačnou tyčí do vodícího vozu. Z něj dojde k přesypu koksu do hasicího vozu. Hasicí vůz přiveze koks pod hasící věž. Důležité je rovnoměrné rozložení koksu na hasicím voze, aby bylo omezeno množství použité hasicí vody. Hasicí vůz obsahuje bočnice ze štěrbin šířky 8 – 10 mm, aby byl umožněn odtok hasicí vody. Odtékající voda odnáší koksový prach. Toho je cca 0,2 % z celkové výroby koksu. Vlhkost hašeného koksu je zhruba 6 %.

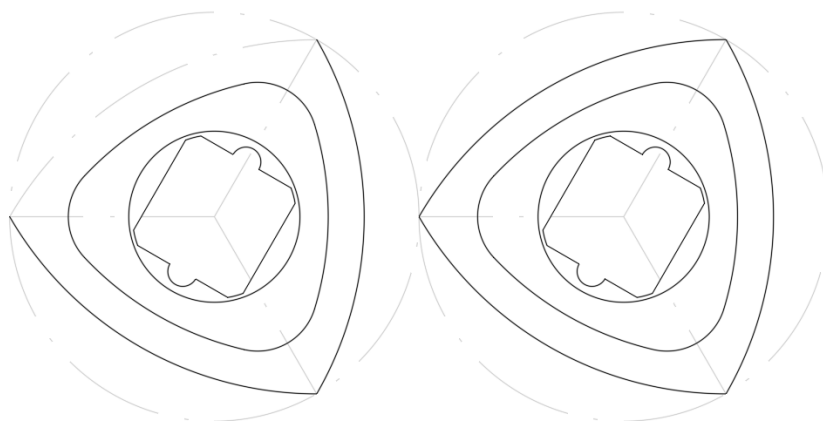
Uhašený a odkapaný (ale stále teplý) koks je poté vysypán z hasicího vozu na koksovou rampu. Tam dochází k odpařování vlhkosti a dochlazování. Na koksové rampě je koks nejméně 30 minut.

Z koksové rampy je pomocí uzávěrů koks vysypáván na rampový pás. Rampovým pásem je koks dopravován na koksovou službu. Ta se skládá z hrubé a jemné třídičky koksu. V hrubé třídičce se z pravidla třídí koks frakce nad 40 mm.

V hrubé třídičce se pro třídění nejčastěji používají třídiče systému Distl-Susky. Ten využívá systému sférických trojúhelníků, které mění polohu mezery, ale ne její velikost. Velikost mezery je dána požadovanou frakcí. Požadovaná frakce vypadne podsítným a větší kusy putují nadsítným.



Obrázek 1.2: Třídící rošt Distl-Susky



Obrázek 1.3: Poloha dvou sférických trojúhelníků třídiče D-S

Třídění může být několika stupňové. Výsledné produkty se dopravují do zásobníků, vagónů nebo v případě, že je koksovna součástí hutě, rovnou do vysokých pecí. Malé frakce se třídí v jemné třídírně. K jejich třídění se nejčastěji používají vibrační třídiče. Po roztřídění je koks dopraven do zásobníků a dále do železničních vagónů, kde se postřikuje vápenným mlékem a odesílá zákazníkům.

2.6. Energetické aspekty výroby koksu

K ohřevu koksových baterií se používají dva druhy plynu – koksový a vysokopecní.

U samostatných koksoven se používá jen koksový plyn. U koksoven, které jsou součástí hutí, se používá sdružené topení. Pro spalování plynů v bateriích se používá přebytek vzduchu 1,2 až 1,3.

Baterie mají spotřebu tepla 2,4 7MJ na 1 kg vsázky s obsahem 10 % vody při topení vysokopecním plynem. Při topení koksárenským plynem je to 2,26 MJ. Předpokládá se teplota kanálků 1.300 °C a teplota spalin 320 – 340 °C.

	Koksárenský plyn	Vysokopecní plyn
Objem CO ₂ (objemová %)	2,6	7,3
C _n H _m (objemová %)	2,4	-
O ₂ (objemová %)	0,6	-
CO (objemová %)	6,2	29,2
H ₂ (objemová %)	56	2,5
CH ₄ (objemová %)	24,8	-
N ₄ (objemová %)	7,4	61
Výhřevnost (MJ/m ³)	17,2	4
Hustota (kg/m ³)	0,489	1,275

Tabulka 1: Složení koksovacího a vysokopecního plynu

	Koksárenský plyn	Vysokopecní plyn
Potřebné množství plynu (m ³)	0,058	0,252
Potřeba vzduchu (m ³)	0,29	0,23
Množství spalin (m ³)	0,33	0,44
CO ve spalinách (objemová %)	-	-
O ₂ ve spalinách (objemová %)	3,8	1,8
CO ₂ ve spalinách (objemová %)	8,4	21,2
N ₂ ve spalinách (objemová %)	87,8	77

Tabulka 2: Údaje vztažené na 1 MJ tepla v topném plynu při přebytku vzduchu 20 %

3. VLASTNOSTI KOKSU Z HLEDISKA MANIPULACE

Chceme-li koks dopravovat pomocí dopravníků, přesypů a jiných manipulátorů, musíme znát nejen fyzikálně-chemické vlastnosti koksu, ale i jeho mechanické vlastnosti. Koks se na dopravní trase nechová jako uhlí, ze kterého vychází. Díky nízkému obsahu vody (6 – 10 %) nedochází k jeho nalepování. Ale je velice tvrdý a křehký. Tyto vlastnosti nazýváme mechanická pevnost. Ta klade vysoké nároky na správnou konstrukci dopravní trasy, neboť je třeba eliminovat rázy v přesypech, při kterých by mohlo docházet k poškození koksu, a zároveň je třeba navrhnout plochy, které přichází do styku s koksem a dochází tam k otěru z odolného materiálu. Obecně lze říci, že čím je větší pevnost koksu, tím lépe vyhovuje hutnímu provozu.

Zkoušky na pevnost koksu jsou vesměs smluvní a dělají se na shodném zařízení přesně stanoveným postupem, aby byly výsledky srovnatelné. Nejčastěji se využívají zkoušky na pevnost otěru v bubnu Micum. Ta se provádí v bubnu vnitřních rozměrů 1 x 1 m bez vnitřního hřídele. Do bubnu se nasype vzorek 50 kg koksu o velikosti kusů nad 60 mm. Buben vykoná za 4 minuty sto otáček. Poté se koks prosévá a zjišťuje se podíl nad 40 mm a pod 10 mm. Množství zrn nad 40 mm v procentech udává pevnost koksu a označuje se jako M₄₀, podíl pod 10 mm udává otěr a značí se M₁₀.

Pro dopravu koksu jsou důležité také následující vlastnosti koksu:

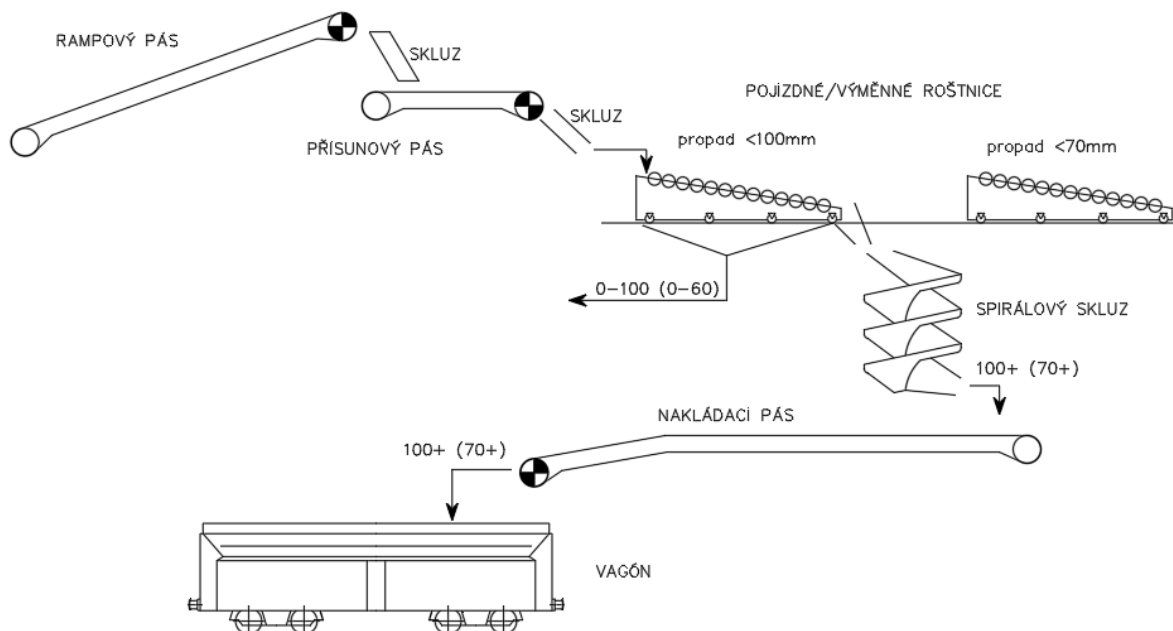
Sypná hmotnost	600 – 800	[kg/m ³]
Teplota	20 – 80	[°C]
Zrnitost	5 – 300	[mm]
Dopravované množství	0 – 600	[t/hod]
Dynamický sypný úhel	15	[°]

4. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU

Ve stávajícím provozu je koks z koksové rampy dopravován do prostoru hrubé třídírny rampovým pásem. Tam je přesypem sypán na třídící rošty Distl-Susky. Ty jsou výměnné. Dle potřeby provozu je nadsítné o zrnitosti 70 nebo 100 mm. Velikost nadsítného je až 300 mm. Nadsítné je poté sypáno na spirálový skluz a z něj na nakládací dopravníkový pás. Ten dopravuje koks do železničního vagónu.

Parametry dopravní linky:

Dopravované množství rampovým pásem	150 t/hod
Zrnitost	0 – 300 mm
Teplota	20 °C

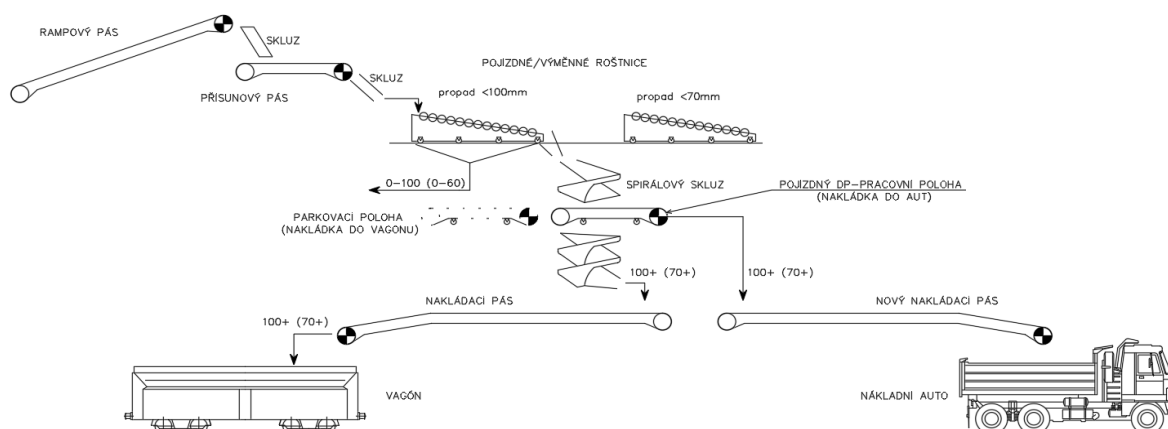


Obrázek 4.1: Technologické schéma stávající trasy

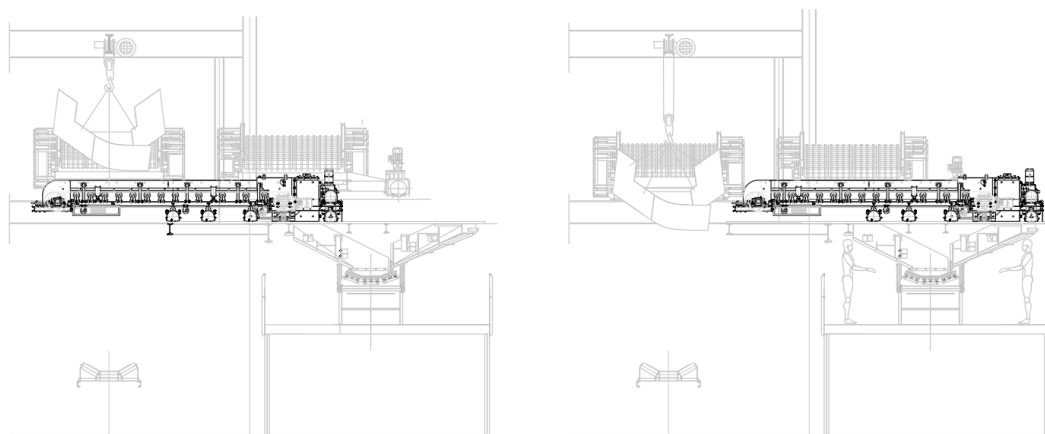
5. NÁVRH NOVÉ DOPRAVNÍ TRASY

Požadavkem je upravit stávající trasu tak, aby byla umožněna nakládka koksu také do nákladních aut. Z dispozičních důvodů nelze využít zpevněné plochy kolejiště. Je potřeba zhotovit novou trasu, která bude napojena na stávající.

Stávající spirálový skluz se rozdělí na dvě poloviny. Spodní část bude pevná a vrchní část bude zavěšena na kladkostroji, který umožní její svislý pohyb. Při nakládce do vagónů bude spirála spuštěna do své spodní polohy a bude zachován stávající tok materiálu. Při potřebě nakládat do nákladních aut se zvedne spirála ze své výchozí polohy kladkostrojem, pod horní část zajede dopravní pás, který je visutý. Na pás dopadne koks pomocí sklopného skluzu z roštnic. Z pojízdného dopravníku bude materiál dopravován skrz skluz na vynášecí pás, který obsahuje na svém konci sklopné rameno, pomocí kterého je koks nakládán do korby auta.



Obrázek 5.1: Technologické schéma nové trasy



Obrázek 5.2: Pracovní a parkovací poloha pojízdného dopravníku

6. KONSTRUKCE POJIZDNÉHO DOPRAVNÍKU

K vynášení koksu z třídícího roštu je navržen pojízdný pásový dopravník. Vzhledem k zástavbovým podmínkám je zvolen trať jedno válečková s rovným profilem pásu. Z důvodu sjednocení s ostatními pásy je šířka dopravního pásu 1.000 mm. Pohon je navržen kuželočelní převodovkou s elektromotorem. Převodovka je vybavena dutou hřídelí a momentovým ramenem. Tímto je eliminována potřeba spojky. Pojezd je řešen kuželočelní převodovkou s plnou hřídelí, na které je nasazeno řetězové kolo. Kolo přenáší výkon na hřídel pojezdu pomocí řetězu. Poháněcí buben je pogumován pro zlepšení přenosu síly mezi bubnem a gurtou. Trať dopravníku je zhotovena z válcovaných profilů a je vybavena bočním vedením, které usměrňuje dopravovaný materiál. Dopravník je vybaven bezpečnostními kryty dle platných norem. Napínání pásu je šroubové, tažné. Výpočet dopravníku je proveden dle normy ISO 5048.

Parametry dopravovaného materiálu:

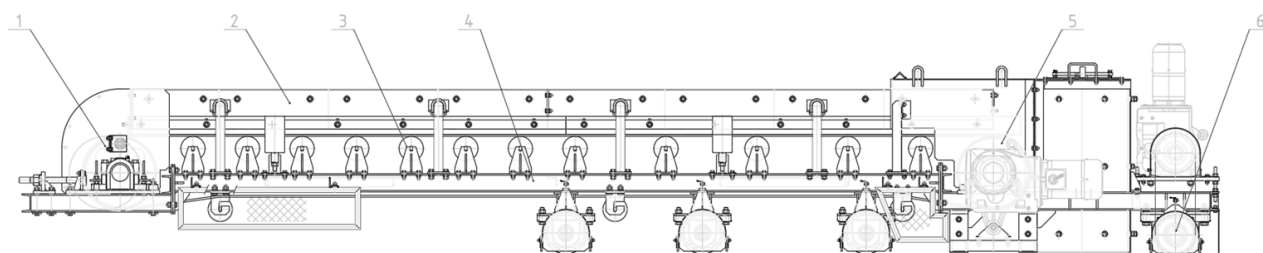
Materiál:	koks
Zrnitost:	0 – 200 mm
Sypná hmotnost:	750 kg/m ³
Dpravované množství:	150 t/hod

Zvolené parametry vynášecího dopravníku:

Šířka pásu:	1.000 mm
Rychlost pásu:	1,1 m/s
Rychlost pojezdu:	0,2 m/s
Sklon dopravníku:	0°
Délka dopravníku:	4.800 mm

Vypočtené parametry vynášecího dopravníku:

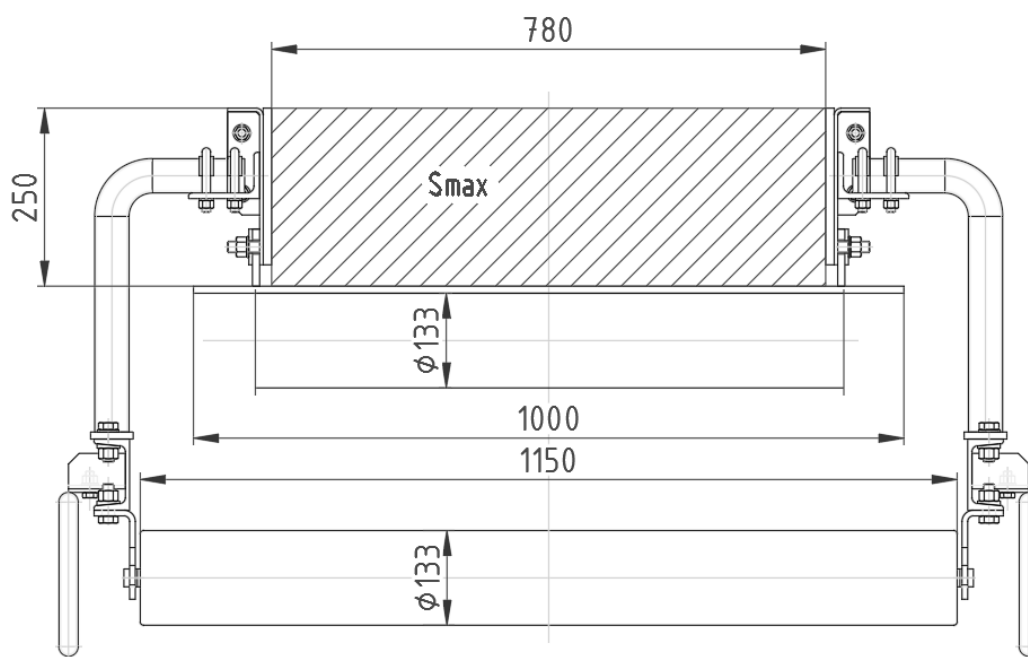
Výkon pohonu bubnu:	4 kW
Výkon pojezdu:	2,2 kW
Tahy v páse T1	3.352 N
Tahy v páse T2	1.481 N



Obrázek 6.1: Pojízdný dopravník: 1 – napínací stanice, 2 – boční vedení, 3 – válečková stolice, 4 – kostra, 5 – poháněcí stanice, 6 – pojezdová náprava

6.1. Kontrola kapacitního výpočtu dopravníku

S ohledem na provozní podmínku, kterou je nutnost zajišťovat dopravníkem pod snížený profil, je kalkulován maximální průřez náplně po horní hranu bočního vedení.



Obrázek 6.2: Řez dopravníkovou tratí s vyznačeným maximálním průřezem náplně

6.1.1. Teoretická potřebná plocha průřezu náplně

$$St = \frac{Q}{\rho \cdot v \cdot 3600} \quad [m^2] \quad (1)$$

$$St = \frac{150\,000}{750 \cdot 1,1 \cdot 3600} \quad [m^2]$$

$$St = 0,05 m^2$$

6.1.2. Kontrola plochy průřezu náplně

Podmínka:

$$S_{max} > S_t \quad [m^2]$$

$$0,195 \, m^2 > 0,05 \, m^2$$

Plocha průřez je dostačující.

6.1.3. Objemový dopravní výkon

$$Q_v = S_{max} \cdot v \quad [m^3/s] \quad (2)$$

$$Q_v = 0,195 \cdot 1,1 \quad [m^3/s]$$

$$Q_v = 0,214 \, m^3/s$$

6.1.4. Teoretický hmotnostní dopravní výkon

$$Q_t = Q_v \cdot \rho \cdot 3\,600 \quad [kg/hod] \quad (3)$$

$$Q_t = 0,214 \cdot 750 \cdot 3\,600 \quad [kg/hod]$$

$$Q_t = 579\,150 \, kg/hod = 579 \, t/hod$$

6.1.5. Kontrola pásu na hmotnostní dopravní výkon

Podmínka:

$$Q_t > Q$$

$$579 \, t/hod > 150 \, t/hod$$

Dopravní výkon je dostačující.

6.2. Kontrolní výpočet hřídele bubnu

Vstupní parametry:

Výkon pohonu P	4 kW
Krouticí moment Mk	634 Nm
Otáčky hřídele n	60 ot/min

Materiál hřídele	S355J2
Typ namáhání	krut míjivý
Dovolené napětí v ohybu σ_{OD}	100 – 150 MPa, volím 120 MPa
Dovolené napětí v krutu τ_{KD}	55 – 85 MPa, volím 70 MPa
Mez napětí v tahu σ_{PT}	510 – 620 MPa, volím 560 MPa
Průměr bubnu	400 mm
Zatěžující síla $F_1 \left(\frac{T_1+T_2}{2} \right)$	2.417 N

6.2.1. Stanovení reakce v ložiscích

$$\sum F_x = 0 \quad 0 = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_{RA} - F_1 - F_1 + F_{RB} = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_{OB} = 0 \quad F_1 \cdot c + F_1(c + b) - F_{RA} \cdot d = 0 \quad (6)$$

6.2.1.1. Velikost reakce v ložiscích A

$$F_{RA} = \frac{F_1 \cdot c + F_1(c+b)}{d} \quad [N] \quad (7)$$

$$F_{RA} = \frac{2\,416 \cdot 185 + 2\,416(185+900)}{1\,270} \quad [N]$$

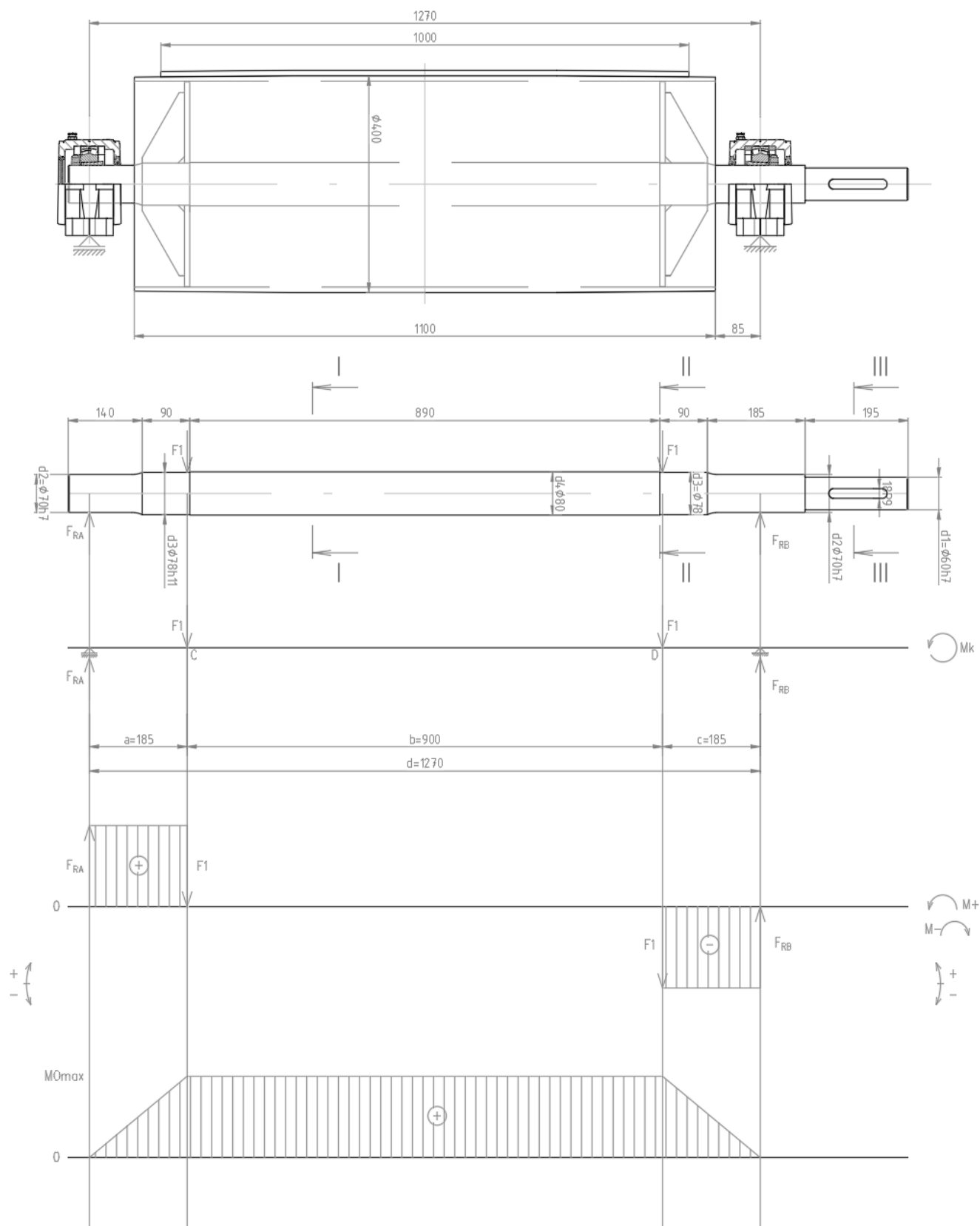
$$F_{RA} = 2\,416 \, N$$

6.2.1.2. Velikost reakce v ložiscích B

$$F_{RB} = F_1 + F_1 - F_{RA} \quad [N] \quad (8)$$

$$F_{RB} = 2\,416 + 2\,416 - 2\,416 \quad [N]$$

$$F_{RB} = 2\,416 \, N$$



Obrázek 6.3: Působení sil, reakcí a ohybového momentu na hřídeli bubnu

6.2.2. Výpočet výslednic vnitřních účinků

$$M_{O_{A,p}} = F_{Rb} \cdot l - F_1(a + b) - F_1 \cdot a \quad [\text{Nm}] \quad (9)$$

$$M_{O_{A,p}} = 2\,416 \cdot 1,27 - 2\,416(0,185 + 0,9) - 2\,416 \cdot 0,185 \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{O_{A,p}} = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{O_{B,l}} = F_{RA} \cdot d - F_1(b + c) - F_1 \cdot c \quad [\text{Nm}] \quad (10)$$

$$M_{O_{B,l}} = 2\,416 \cdot 1,27 - 2\,416(0,9 + 0,185) - 2\,416 \cdot 0,185 \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{O_{B,l}} = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{O_{C,p}} = F_{Rb}(b + c) - F_1 \cdot b \quad [\text{Nm}] \quad (11)$$

$$M_{O_{C,p}} = 2\,416(0,9 + 0,185) - 2\,416 \cdot 0,185 \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{O_{C,p}} = 447 \text{ Nm}$$

$$M_{O_{D,l}} = F_{RA}(a + b) - F_1 \cdot b \quad [\text{Nm}] \quad (12)$$

$$M_{O_{D,l}} = 2\,416(0,182 + 0,9) - 2\,416 \cdot 0,185 \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{O_{D,l}} = 447 \text{ Nm}$$

6.2.3. Kontrola hřídele v kritických místech

6.2.3.1. Kontrola v průřezu I

Ohybové napětí v průřezu I:

$$\sigma_{OI} = \frac{M_{OI}}{W_{OI}} \quad [\text{MPa}] \quad (13)$$

$$\sigma_{OI} = \frac{M_{OI}}{\frac{\pi \cdot d^4}{32}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{OI} = \frac{447}{\frac{\pi \cdot 0,08^4}{32}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{OI} = 8,9 \text{ MPa}$$

Napětí v krutu v průřezu I:

$$\tau_{KI} = \frac{Mk}{Wk_I} \quad [\text{MPa}] \quad (14)$$

$$\tau_{KI} = \frac{Mk}{\frac{\pi \cdot d^4}{16}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\tau_{KI} = \frac{634}{\frac{\pi \cdot 0,08^3}{16}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\tau_{KI} = 6,3 \text{ MPa}$$

Redukované napětí v průřezu I:

$$\sigma_{red_I} = \sqrt{\sigma_{0I}^2 + 3 \cdot \tau_{KI}^2} \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

$$\sigma_{red_I} = \sqrt{8,9^2 + 3 \cdot 6,3^2} \quad [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{red_I} = 14,1 \text{ MPa}$$

Podmínka:

$$\sigma_{red_I} \leq \sigma_{0D}$$

$$14,1 \text{ MPa} \leq 120 \text{ MPa}$$

Hřídel v místě průřezu I pevnostně vyhovuje.

6.2.3.2. Kontrola v průřezu II

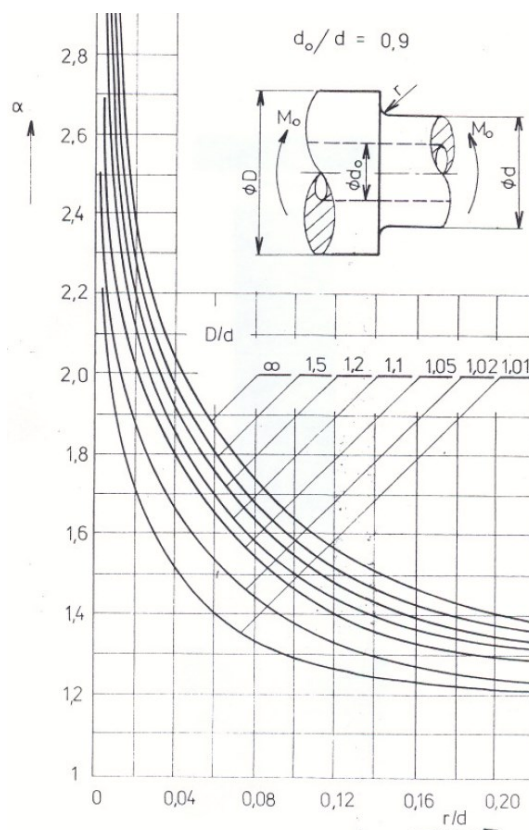
Tvarový součinitel v osazení hřídele v ohybu:

$$\frac{d_4}{d_3} = \frac{80}{78} = 1,025 \quad (16)$$

$$\frac{r_3}{d_3} = \frac{1}{78} = 0,012 \quad (17)$$

$$\rightarrow \alpha_{0II} = 1,25$$

Tvarový součinitel je určen z následujícího grafu.



Obrázek 6.4: Graf tvarového součinitele pro ohyb [11]

Ohybové napětí v průřezu II:

$$\sigma_{oII} = \alpha_{oII} \cdot \frac{M_{oII}}{W_{oII}} \quad [\text{MPa}] \quad (18)$$

$$\sigma_{oII} = \alpha_{oII} \cdot \frac{M_{oII}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{oII} = 1,25 \cdot \frac{447}{\frac{\pi \cdot 0,078^3}{32}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{oII} = 12 \text{ MPa}$$

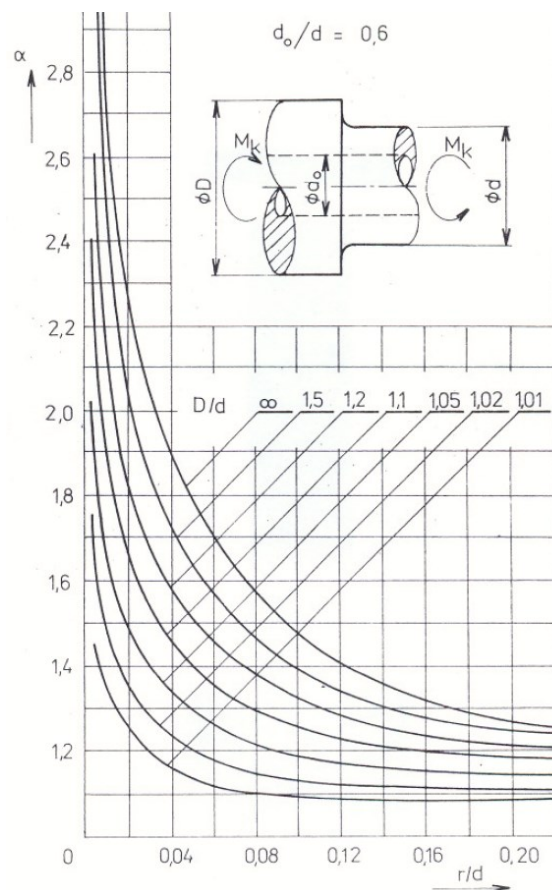
Tvarový součinitel v osazení hřídele v krutu:

$$\frac{d_4}{d_3} = \frac{80}{78} = 1,025 \quad (19)$$

$$\frac{r_3}{d_3} = \frac{1}{78} = 0,012 \quad (20)$$

$$\rightarrow \alpha_{KII} = 1,2$$

Tvarový součinitel je určen z následujícího grafu.



Obrázek 6.5: Graf tvarového součinitele pro krut [11]

Napětí v krutu v průřezu II:

$$\tau_{KII} = \alpha_{KII} \cdot \frac{M_k}{W_{kII}} \quad [\text{MPa}] \quad (21)$$

$$\tau_{KII} = \alpha_{KII} \cdot \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\tau_{KII} = 1,2 \cdot \frac{634}{\frac{\pi \cdot 0,078^3}{16}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\tau_{KII} = 8,2 \text{ MPa}$$

Redukované napětí v průřezu II:

$$\sigma_{redII} = \sqrt{\sigma_{oII}^2 + 3 \cdot \tau_{KII}^2} \quad [\text{MPa}] \quad (22)$$

$$\sigma_{redII} = \sqrt{12^2 + 3 \cdot 8,2^2} \quad [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{redII} = 18,6 \text{ MPa}$$

Podmínka:

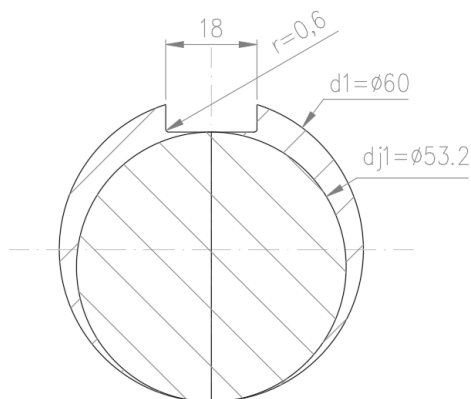
$$\sigma_{red II} \leq \sigma_{0D}$$

$$18,6 \text{ MPa} \leq 120 \text{ MPa}$$

Hřídel v místě průřezu II pevnostně vyhovuje.

6.2.3.3. Kontrola v průřezu III

Tvarový součinitel pro hřídel s drážkou pro pero namáhané krutem:

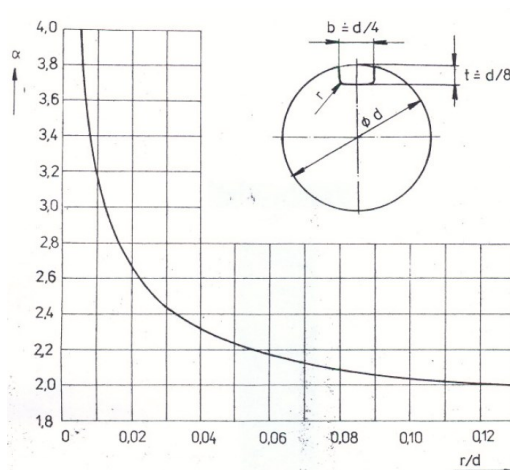


Obrázek 6.6: Drážka pro pero v místě průřezu III

$$\frac{r}{d_1} = \frac{0,6}{60} = 0,01$$

(23)

Tvarový součinitel je určen z následujícího grafu.



Obrázek 6.7: Graf tvarového součinitele pro krut [11]

Nominální napětí v krutu v průřezu III:

$$\tau_{KnIII} = \frac{M_k}{W_{kIII}} \quad [\text{MPa}] \quad (24)$$

$$\tau_{KnIII} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d_j^3}{16}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\tau_{KnIII} = \frac{634}{\frac{\pi \cdot 0,053^3}{16}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\tau_{KnIII} = 21,7 \text{ MPa}$$

Napětí v krutu v průřezu III při užití tvarového součinitele:

$$\tau_{KmaxIII} = \alpha_{KIII} \cdot \tau_{KnIII} \quad [\text{MPa}] \quad (25)$$

$$\tau_{KmaxIII} = 3,2 \cdot 21,7 \quad [\text{MPa}]$$

$$\tau_{KmaxIII} = 69,4 \text{ MPa}$$

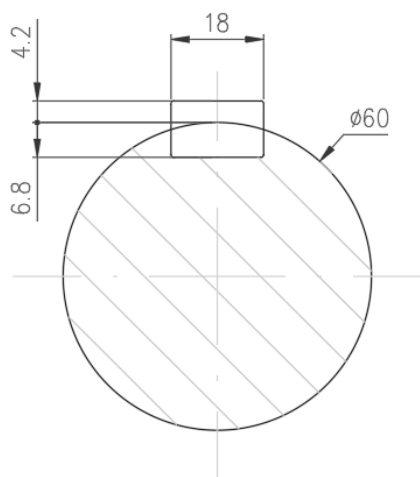
Podmínka:

$$\tau_{KmaxIII} \leq \tau_{KD}$$

$$69,4 \text{ MPa} \leq 70 \text{ MPa}$$

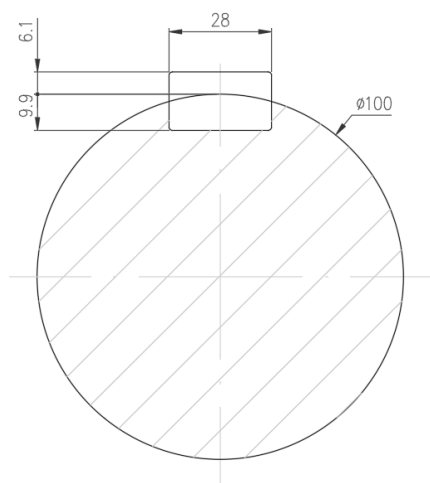
6.3. Kontrolní výpočet per

Parametry pera hřídele bubnu:



Krouticí moment	634 Nm
Materiál pera	11600
ρ_{dov}	80 MPa
L_{pera}	110 mm
τ_{dovs}	120 MPa

Parametry pera hřídele pojezdu:



Krouticí moment	887 Nm
Materiál pera	11600
p_{dov}	80 MPa
L_{pera}	90 mm
τ_{dovs}	120 MPa

6.3.1. Kontrolní výpočet pera bubnu na otlačení

Výpočet síly působící na pero:

$$Mk = F \cdot r = F \cdot \frac{d}{2} \quad [\text{MPa}] \quad (26)$$

$$F = \frac{Mk}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot Mk}{d} = \frac{2 \cdot 634}{0,06} = 21\,133 \text{ N} \quad (27)$$

Kontrola délky pera na otlačení v náboji:

$$p = \frac{F}{s} = \frac{F}{t_1 \cdot l_{min}} \leq p_{dov} \quad [\text{MPa}] \quad (28)$$

$$l_{min} = \frac{F}{t_1 \cdot p_{dov}} = \frac{21\,133}{4,2 \cdot 80} = 62,9 \text{ mm} \quad (29)$$

$$l_{min} < l$$

$$62,9 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Délka pera vyhovuje.

Kontrola pera na otlačení v hřídeli:

$$p = \frac{F}{s} = \frac{F}{t \cdot l} \leq p_{dov} \quad [\text{MPa}] \quad (30)$$

$$p = \frac{21\,133}{6,8 \cdot 110} \leq 80 \quad [\text{MPa}]$$

$$p = 28,25 \text{ MPa} \leq 80 \text{ MPa}$$

Pero vyhovuje.

6.3.2. Kontrolní výpočet pera bubnu na stříh

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{F}{b \cdot l} \leq \tau_{dovs} \quad [\text{MPa}] \quad (31)$$

$$\tau_s = \frac{21\,133}{18 \cdot 110} = 10,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_s \leq \tau_{dovs}$$

$$10,7 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa}$$

Pero vyhovuje.

6.3.3. Kontrolní výpočet pera pojezdu na otlačení

Výpočet síly působící na pero:

$$Mk = F \cdot r = F \cdot \frac{d}{2} \quad [\text{MPa}] \quad (26)$$

$$F = \frac{Mk}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot Mk}{d} = \frac{2 \cdot 887}{0,1} = 17\,740 \text{ N} \quad (27)$$

Kontrola délky pera na otlačení v náboji:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{t_1 \cdot l_{min}} \leq p_{dov} \quad [\text{MPa}] \quad (28)$$

$$l_{min} = \frac{F}{t_1 \cdot p_{dov}} = \frac{17\,740}{6,1 \cdot 80} = 36,4 \text{ mm} \quad (29)$$

$$l_{min} < l$$

$$36,4 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$$

Délka pera vyhovuje.

Kontrola pera na otlačení v hřídeli:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{t \cdot l} \leq p_{dov} \quad [\text{MPa}] \quad (30)$$

$$p = \frac{17\,740}{9,9 \cdot 90} \leq 80 \quad [\text{MPa}]$$

$$p = 19,1 \text{ MPa} \leq 80 \text{ MPa}$$

Pero vyhovuje.

6.3.4. Kontrolní výpočet pera pojezdu na střih

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{F}{b \cdot l} \leq \tau_{dovs} \quad [\text{MPa}] \quad (31)$$

$$\tau_s = \frac{17\,740}{28 \cdot 90} = 7 \text{ MPa}$$

$$\tau_s \leq \tau_{dovs}$$

$$7 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa}$$

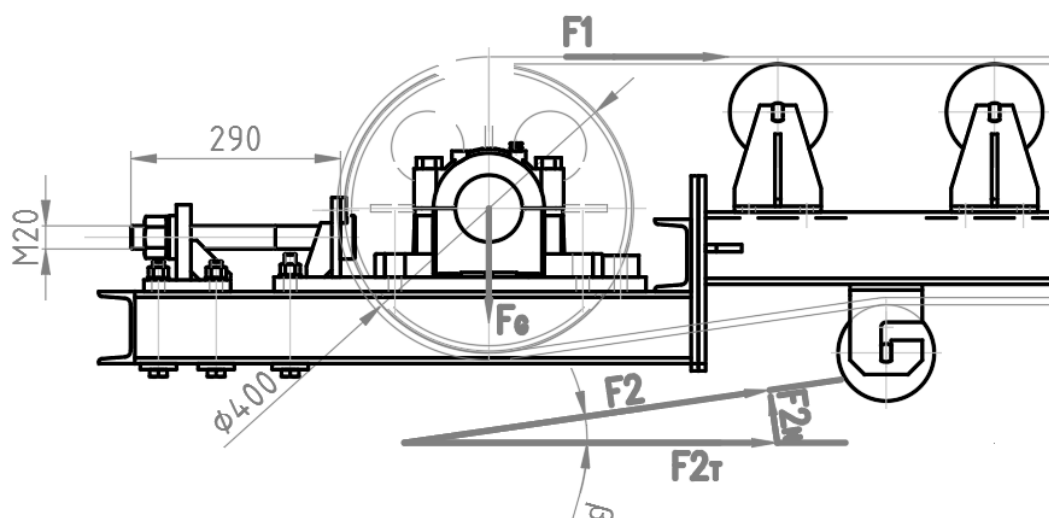
Pero vyhovuje.

6.4. Kontrolní výpočet napínacích šroubů

Pro menší pásové dopravníky se nejčastěji volí tuhá napínací zařízení. V tomto případě bylo zvoleno tuhé napínací zařízení, a to napínání pomocí napínacích šroubů. Napínací buben je uložen na pojízdném loži a napínací síla je vyvozena tlakem ve dvou šroubech. Ty musí být navrženy nejen s ohledem na působící tlak a vzpěr, ale také s ohledem na provozní podmínky a snadnou obsluhu.

Vstupní parametry:

Navržena délka šroubů l	290 mm
Redukovaná délka šroubů l_0	580 mm
Navržený typ závitu	metrický 20 x 1,5
Materiál	8.8
Mez pevnosti R_m	800 MPa
Mez kluzu R_e	640 MPa
Modul pružnosti v tahu E	$2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Koeficient bezpečnosti K	2
Počet šroubů n	2
Materiál saní	S235JR
Dovolené napětí saní v tlaku σ_{Dt}	100 MPa



Obrázek 6.8: Silové působení na napínacím bubnu

6.4.1. Síla F2 a její složky

Normálová složka síly F2:

$$F_{2N} = F_2 \cdot \sin \beta \quad [\text{N}] \quad (32)$$

$$F_{2N} = 1\,481 \cdot \sin 8^\circ \quad [\text{N}]$$

$$F_{2N} = 206 \text{ N}$$

Tečná složka síly F2:

$$F_{2T} = F_2 \cdot \cos \beta \quad [\text{N}] \quad (33)$$

$$F_{2T} = 1\,481 \cdot \cos 8^\circ \quad [\text{N}]$$

$$F_{2T} = 1\,466 \text{ N}$$

6.4.2. Tíha bubnu a její složky

Hmotnost napínacího bubnu m_B : 199 kg

$$F_G = m_{NB} \cdot G \quad [\text{N}] \quad (34)$$

$$F_G = 199 \cdot 9,81 \quad [\text{N}]$$

$$F_G = 1\,952 \text{ N}$$

6.4.3. Kontrola napínacích šroubů

Síla působící na jeden šroub se zahrnutím koeficientu bezpečnosti:

$$F_{1S} = \frac{K(F_1 + F_{2T} - F_G)}{n} \quad [\text{N}] \quad (35)$$

$$F_{1S} = \frac{2(3\,352 + 1\,466 - 1\,952)}{2} \quad [\text{N}]$$

$$F_{1S} = 2\,866 \text{ N}$$

Kontrola průměru šroubu při předpokladu působení prostého tlaku:

$$\sigma_{TDOV} \geq \frac{F_{1S}}{S} = \frac{F_{1S} \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \rightarrow d_{2min} \geq \sqrt{\frac{F_{1S} \cdot 4}{\pi \cdot \sigma_{TDOV}}} \quad (36)$$

$$d_{2min} \geq \sqrt{\frac{2\,866 \cdot 4}{\pi \cdot 640}} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{2min} = 2,4 \text{ mm}$$

Podmínka:

$$d_2 \geq d_{2min}$$

$$18,334 \text{ mm} \geq 2,4 \text{ mm}$$

Navržený závit M20 vyhovuje na prostý tlak.

d_2 průměr stoupání závitu

σ_{TDOV} pro šrouby lze považovat mez kluzu Re

Kontrola průměru šroubu při předpokladu vzniku vzpěru, výpočet dle Eulera:

$$F_{1S} = \frac{\pi^2 \cdot E I_x}{l_0^2} \quad [\text{N}] \quad (37)$$

$$I_x = \frac{\pi \cdot d_{2min}^4}{64} \quad [\text{mm}^4] \quad (38)$$

$$\rightarrow d_{2min} \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_{1S} \cdot l_0^2}{\pi^3 \cdot E}} \quad [\text{mm}] \quad (39)$$

$$\rightarrow d_{2min} \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 2\,866 \cdot 580^2}{\pi^3 \cdot 2,1 \cdot 10^5}} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{2min} = 1 \text{ mm}$$

Podmínka:

$$d_2 \geq d_{2min}$$

$$18,334 \text{ mm} \geq 1 \text{ mm}$$

Navržený závit M20 vyhovuje na vzpěr dle Eulera.

Kontrola štíhlosti šroubů:

Mezní štíhlost materiálu 8.8 je dle strojnických tabulek $\lambda_m = 99 - 105$, volím hodnotu 100.

$$\lambda_S = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I_x}{S_S}}} \quad (40)$$

$$I_x = \frac{\pi \cdot d_{3s,4}^4}{64} \quad [\text{mm}^4] \quad (41)$$

$$S_S = \frac{\pi \cdot d_{3s,2}^2}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (42)$$

$$\rightarrow \lambda_S = \frac{4 \cdot l_0}{d_{3s}} \quad (43)$$

$$\lambda_S = \frac{4 \cdot 580}{16,891}$$

$$\lambda_S = 137,35$$

Podmínka:

$$\lambda_S \geq \lambda_m$$

$$137,35 \geq 100$$

Bylo možno využít výpočet na vzpěr dle Eulera.

6.4.4. Kontrola saní na otlačení

Na posuvné uložení napínacího bubnu pásového dopravníku působí součet všech normálových složek sil. Jedná se o síly F_G a F_{2N} . Z toho vyplývá požadavek na kontrolu minimální styčné plochy.

Normálová síla působící na saně, zahrnující koeficient bezpečnosti:

$$F_{SA} = k(F_G - F_{2N}) \quad [\text{N}] \quad (44)$$

$$F_{SA} = 2(1\,952 - 206) \quad [\text{N}]$$

$$F_{SA} = 3\,492 \text{ N}$$

Minimální povrch stykové plochy saní:

$$P_{SA} = \frac{F_{SA}}{S_{SA}} \rightarrow S_{min} \geq \frac{F_{SA}}{P_{SA}} \quad [\text{mm}^2] \quad (45)$$

$$S_{min} \geq \frac{3492}{100} \quad [\text{mm}^2]$$

$$S_{min} \geq 34,92 \text{ mm}^2$$

Podmínka:

$$S_{min} \leq S_{SA}$$

$$34,92 \text{ mm}^2 \leq 2\,8350 \text{ mm}^2$$

Saně pojezdu vyhovují na kontrolu na otlačení.

6.5. Kontrolní výpočet řetězu pojezdu

Pro přenos výkonu z motoru pojezdu na nápravu byl zvolen řetěz. Jeho výhodou je snadná montáž, jednoduchá údržba, vysoká účinnost až 95 % a menší namáhání hřídele v porovnání s řemenovým převodem z důvodu menšího předpětí tažného členu. Nevýhodou je citlivost na přesnou montáž, vyšší hlučnost soustrojí a nutnost mazání převodu.

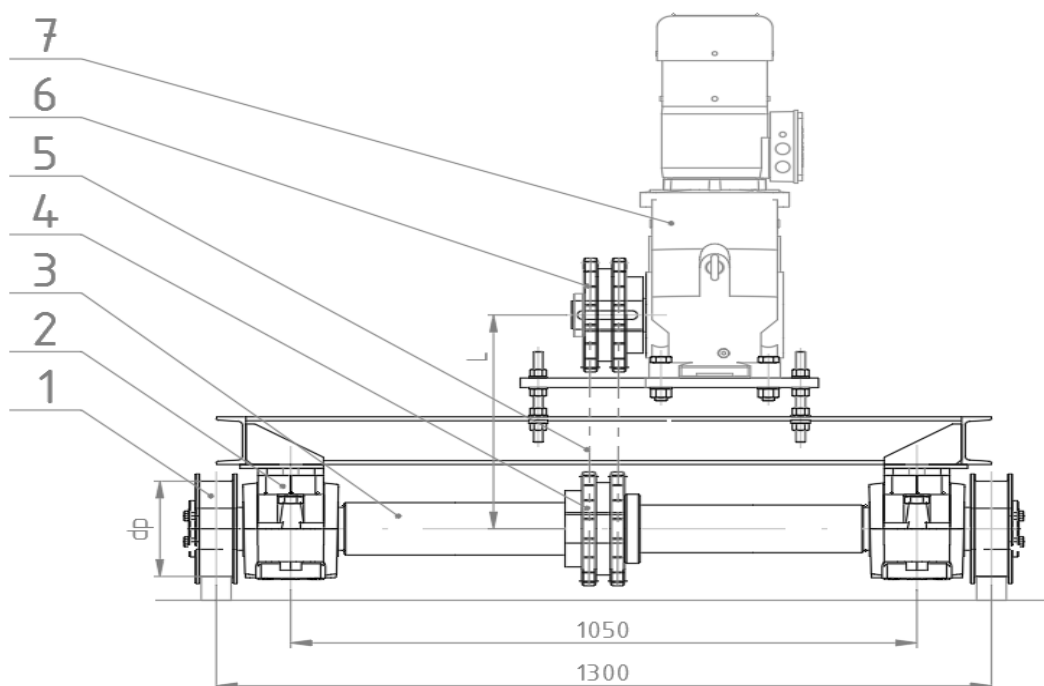
Byl zvolen válečkový řetěz dle normy DIN 8187 pro svou rozšířenost a snadnou dostupnost. Výpočet řetězového převodu vychází z normy DIN 8195.

Rozteče ložisek a pojezdových kol, osová vzdálenost řetězových kol a další základní dispoziční řešení pojezdu vychází také z konstrukčního řešení dopravníku jako celku, kdy je třeba řetězový převod volit nejen dle vypočtených hodnot, ale je třeba jej do stroje umístit s ohledem na celkovou stavbu a požadovanou funkčnost. Příkladem jsou pojezdová kola, jejichž průměr je volen s ohledem na možnost výskytu koksu na kolejnici. Větší průměr snáze překoná překážku a zabrání vykolejení dopravníku.

K pohonu pojezdu byl zvolen kuželočelní motor s plnou výstupní hřídelí. Poháněcí řetězové kolo je umístěno přímo na hřídeli. Přenos síly probíhá řetězem na poháněcí hřídel. Na ní je umístěn pastorek, dvojice pojezdových kol s nákolkem a ložisková tělesa s válečkovými ložisky. Spojení řetězového kola s hřídelí je řešeno perem. Pro potřeby napínání řetězu je pohon umístěn na platformě s možností výškové regulace.

Vstupní parametry:

Výstupní otáčky navrženého motoru n_m	16 ot/min
Výkon motoru P_m	1,5 kW
Průměr kola pojezdu d_p	200 mm
Požadovaná rychlost pojezdu v_p	0,16 m/s
Navržená osová vzdálenost L	450 mm



Obrázek 6.9: Řešení pojezdu: 1 – pojezdové kolo, 2 – ložiskové těleso, 3 – pojezdová hřídel, 4 – pastorek, 5 – řetěz, 6 – poháněcí řetězové kolo, 7 – motor

Výstupní krouticí moment převodovky:

$$M_k = \frac{P_m}{\omega} \quad [\text{Nm}] \quad (46)$$

$$M_k = \frac{P_m}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_k = \frac{1\,500}{2 \cdot \pi \cdot \frac{16}{60}} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_k = 887 \text{ Nm}$$

Obvod kola pojezdu:

$$o = \pi \cdot d \quad [\text{m}] \quad (47)$$

$$o = \pi \cdot 0,2 \quad [\text{m}]$$

$$o = 0,628 \text{ m}$$

Návrh a kontrola převodového poměru:

Na základě určeného obvodu kola, výstupních otáček motoru a požadované rychlosti pojezdu lze navrhnout převodový poměr $i=1$.

$$v = n \cdot o \quad [\text{m/s}] \quad (48)$$

$$v = \frac{16}{60} \cdot 0,628 \quad [\text{m/s}]$$

$$v = 0,167 \text{ m/s}$$

Upravený přenášený výkon dle provozních podmínek:

$$P_D = \frac{P_m}{\mu \cdot \varphi \cdot \gamma} \quad [\text{W}] \quad (49)$$

$$P_D = \frac{1\,500}{1 \cdot 1 \cdot 0,53} \quad [\text{W}]$$

$$P_D = 2\,830 \text{ W}$$

$\varphi = 1$ pro řetězy uvedené v diagramu

Činitel rázů Y pro lehké rázy se středním přechodným zatížením volíme 2.

Převodový poměr i	Činitel rázů Y = 1 Počet zubů z ₁ malého kola					Činitel rázů Y = 2 Počet zubů z ₁ malého kola					Činitel rázů Y = 3 Počet zubů z ₁ malého kola					Činitel rázů Y = 4 Počet zubů z ₁ malého kola				
	13	17	19	21	25	13	17	19	21	25	13	17	19	21	25	13	17	19	21	25
1	0,39	0,73	0,83	0,93	1,11	0,28	0,53	0,60	0,67	0,81	0,24	0,42	0,52	0,58	0,70	0,21	0,34	0,43	0,53	0,64
2	0,50	0,82	0,93	1,04	1,26	0,36	0,60	0,68	0,76	0,92	0,30	0,50	0,59	0,66	0,80	0,26	0,44	0,52	0,61	0,73
3	0,57	0,88	1,00	1,12	1,36	0,42	0,65	0,73	0,82	0,99	0,35	0,55	0,63	0,71	0,86	0,29	0,51	0,58	0,65	0,79
5	0,64	0,96	1,09	1,22	1,49	0,47	0,71	0,80	0,89	1,09	0,40	0,61	0,69	0,77	0,94	0,33	0,57	0,63	0,71	0,86
≥ 7	0,67	1,02	1,15	1,30	1,59	0,49	0,75	0,85	0,95	1,16	0,42	0,64	0,73	0,82	1,00	0,35	0,59	0,67	0,75	0,92

Obrázek 6.10: Tabulka činitelů výkonu γ

Rozmezí výkonu	Rychlost řetězu v ms ⁻¹	Činitelé mazání μ pro			Druhy mazání		
		bez-vadné mazání	nedostatečné mazání bez se znečištění(m)		bez mazání	vhodné	přípustné
I	do 4	1	0,6	0,3	0,15	Lehké mazání kapkami, 4 až 14 kapek za min.	Tukové mazání. Ruční mazání.
II	do 7		0,3	0,15	nepří-pustné	Ponorné mazání máčením v olejové lázni.	Mazání kapkami, asi 20 kapek za min.
III	do 12		nepřípustné			Tlakové oběžné mazání	Olejová lázeň s odstříkovacím kotoučem.
	přes 12					Mazání olejovou mlhou.Tlakové, oběžné mazání s tryskou pro tvoření nejmenších kapiček. Olejové chlazení je-li žádoucí, upravit!	Tlakové oběžné mazání.

Obrázek 6.11: Tabulka činitelů mazání μ

Na základě diagramu (obr. 6.12) volím z nabídky firmy Haberkorn Ulmer:

Řetěz standard dvouřadý 24B, 1 1/2" x 1", rozteč p = 38,1 mm Katalogové číslo I00130.
Dovolený tlak v kloubu řetězu $p_d = 31,8$ MPa.

Běžně se volí jedno řetězové kolo s lichým a druhé se sudým počtem zubů z důvodu
souměrného opotřebení.

Z katalogu Haberkorn Ulmer volím:

Řetězové kolo 1:

Řetězové kolo s nábojem 1 1/2" x 1", 24B-2 (duplex), z = 18. Katalogové číslo T14083.

Řetězové kolo 2:

Řetězové kolo s nábojem 1 1/2" x 1", 24B-2 (duplex), z = 17. Katalogové číslo T14082.

Vzhledem ke konstrukci pojezdu dopravníku nesmí průměr kola překročit 300 mm.



Obrázek 6.12: Diagram pro volbu řetězu

Výpočtová kontrola zvoleného řetězu:

Pro kontrolu zvoleného řetězu provedeme výpočet skutečných poměrů v řetězovém převodu a porovnáme je s hodnotami dovolenými. Pokud navržený řetěz těmto hodnotám nevyhoví, musí se provést nová volba.

Obvodová rychlost řetězu:

$$v = \frac{d \cdot n_1}{19\,100} \quad [\text{m/s}] \quad (50)$$

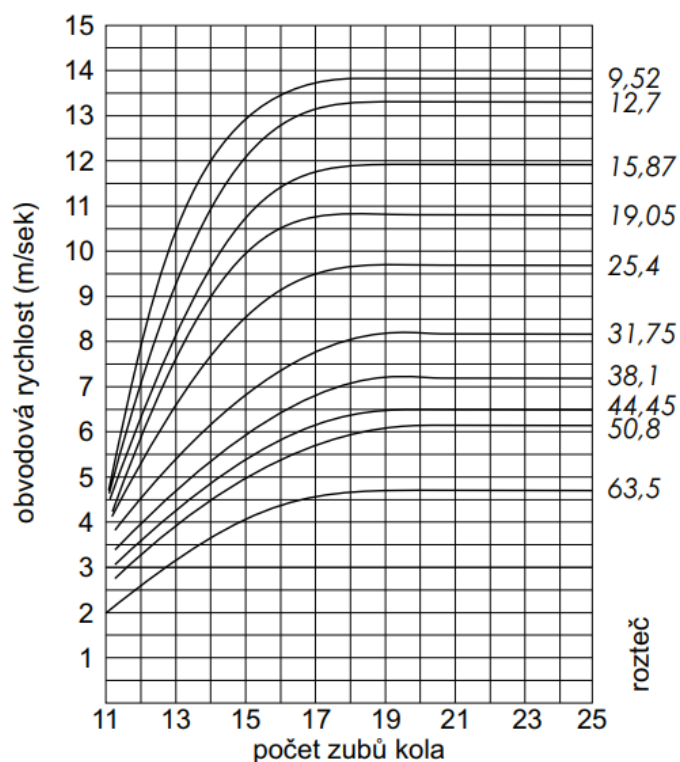
$$v = \frac{207,34 \cdot 16}{19\,100} \quad [\text{m/s}]$$

$$v = 0,17 \text{ m/s}$$

n_1 otáčky hnacího kola [ot/min]

d průměr roztečné kružnice hnacího kola [mm]

Na základě diagramu (obr. 6.13) lze porovnat přípustné obvodové rychlosti řetězu.



Obrázek 6.13: Diagram přípustných obvodových rychlostí řetězů

Obvodová síla na řetězovém kole od přenášeného výkonu:

$$F_o = \frac{P \cdot 1000}{v} \quad [\text{N}] \quad (51)$$

$$F_o = \frac{1,5 \cdot 1000}{0,17} \quad [\text{N}]$$

$$F_o = 8823 \text{ N}$$

P přenášený výkon [kW]

v obvodová rychlost [m/s]

Obvodová síla způsobená účinkem odstředivé síly:

$$F_{oc} = q \cdot v^2$$

$$F_{oc} = 13,5 \cdot 0,17^2$$

$$F_{oc} = 0,4 \text{ N}$$

q hmotnost 1 m řetězu [kg] [7]

Vzhledem k nízké hodnotě odstředivé síly ji můžeme při výpočtu zanedbat.

Celková tahová síla:

$$F_t = F_o \quad [\text{N}] \quad (52)$$

$$F_t = 8\,823 \text{ N}$$

Výpočtový tlak v kloubu řetězu:

$$S = 2(d_1 \cdot b_1) \quad [\text{mm}^2] \quad (53)$$

$$S = 2(25,4 \cdot 25,4) \quad [\text{mm}^2]$$

$$S = 1\,290 \text{ mm}^2$$

$$p_p = \frac{F_t}{S} \quad [\text{MPa}] \quad (54)$$

$$p_p = \frac{8\,823}{1\,290} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_p = 6,8 \text{ MPa}$$

Válečkový řetěz standardní 2-řadý DIN 8187
Standardní válečkový řetěz

Materiál
• zušlechťená ocel

DIN ISO označení	Obchodní označení p x b1	Rozteč p	Šířka b1 min.	Váleček Ø d1 max.	Čep Ø d2 max.	g max.	a1 max.	e	Pevnost při přetržení [N] střední	Hmotnost v kg/m	Obj. kód	Jedn.
05 B-2	8 mm x 3 mm	8,000	3,00	5,00	2,31	7,11	14,3	5,64	8.500	0,32	100124	m
06 B-2*	3/8" x 7/32"	9,525	5,72	6,35	3,28	8,26	23,8	10,24	19.200	0,76	100051	m
08 B-2	1/2" x 5/16"	12,700	7,75	8,51	4,45	11,81	31,0	13,92	38.000	1,31	100125	m
10 B-2	5/8" x 3/8"	15,875	9,65	10,16	5,08	14,73	36,2	16,59	57.300	1,79	100126	m
12 B-2	3/4" x 7/16"	19,050	11,68	12,07	5,72	16,13	42,2	19,46	65.700	2,22	100127	m
16 B-2	1" x 17,02 mm	25,400	17,02	15,88	8,28	21,08	68,0	31,88	137.500	5,03	100128	m
20 B-2	1 1/4" x 3/4"	31,750	19,56	19,05	10,19	26,42	79,7	36,45	210.000	7,33	100129	m
24 B-2	1 1/2" x 1"	38,100	25,40	25,40	14,63	33,40	101,8	48,36	322.500	13,50	100130	m
28 B-2	1 3/4" x 31 mm	44,450	30,99	27,94	15,90	37,08	124,7	59,56	412.600	16,96	100131	m
32 B-2	2" x 31 mm	50,800	30,99	29,21	17,81	42,99	126,0	58,55	510.800	18,74	100132	m
40 B-2	2 1/2" x 1 1/2"	63,500	38,10	39,37	22,89	52,90	154,0	72,29	708.100	30,72	100133	m
48 B-2	3" x 45,72 mm	76,200	45,72	48,26	29,24	63,80	190,4	91,21	1.130.000	50,00	100134	m

Obrázek 6.14: Katalog řetězů firmy Haberkorn Ulmer

Podmínka:

$$p_p \leq p_d$$

$$6,8 \text{ MPa} \leq 31,8 \text{ MPa}$$

Řetěz na otláčení vyhovuje.

7. ZÁVĚR

V první části mé bakalářské práce jsem se zaměřil na popis toho, co je to koks, jeho dělení dle frakce a způsobu určení, na jeho základní vlastnosti, které ovlivňují kvalitu koksu. Popsal jsem postup výroby koksu a energetické aspekty, které s výrobou souvisí.

Ve druhé části jsem popsal dopravní linku na stávajícím koksárenském provozu. Navrhl jsem úpravu, která obsahuje rozdělení stávající spirály, přidání skluzů a soustavu pásových dopravníků. Upravené technologické schéma s novou trasou umožňuje současnou nakládku jak do železničních vagónů, tak do nákladních automobilů. Ze sestavy pásových dopravníků jsem si vybral ten konstrukčně nejzajímavější pro provedení kontrolních výpočtů.

Na pojízdném dopravníku jsem provedl kontrolní výpočet jeho kapacity. Z poháněcí stanice dopravníku jsem ověřil hřídel poháněcího bubnu, která je namáhána krutem i ohybem. Jelikož buben i pojezd obsahuje spoj pomocí těsného pera, byla tato pera ověřena na otlačení a stříh. Obě pera vyhověla. Pojezd dopravníku je řešen soustavou, kde k přenosu síly slouží řetěz. Ukázal jsem způsob jeho volby a provedl jeho kontrolní výpočet.

Úprava dopravní trasy v koksovně umožňuje větší flexibilitu při volbě transportu koksu k zákazníkům. To přispívá k lepší konkurenceschopnosti koksovny, která je důležitá pro udržení výroby a pracovních míst.

Seznam použité literatury:

- [1] Piša, M.: *Výroba koksu*, Praha: SNTL, 1978. DT662.741
- [2] Leiveber, J., Řasa, J., Vávra, P.: *Strojnické tabulky. 3., dopl. vyd.*, Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6
- [3] Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: *Dopravní a manipulační zařízení I.* VŠB-TUO, skriptum
- [4] Polák, J., Bailotti, K., Hrabovský, L.: *Dopravní a manipulační zařízení II.* VŠB-TUO, skriptum
- [5] Pavliska, J., Hrabovský, L.: *Dopravní a manipulační zařízení IV.* VŠB-TUO, skriptum
- [6] http://www.haberkorn.cz/dyndoc/view/se-pohony-retezova_kola.pdf/47/
- [7] http://www.haberkorn.cz/data/files/file/pohonne-systemy/pohony-retezy/retezy/05_Retezy_web_15-20.pdf
- [8] https://www.czretezy.cz/docs/prum_vypocet_retezoveho_prevodu.pdf
- [9] <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mez-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
- [10] <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/14-kvadraticky-moment-a-modul-prurezu-v-ohybu>
- [11] Prášil, L.: *Únava materiálu strojních součástí při periodickém zatěžování*. TUL, skriptum

Seznam použitých norem:

- ČSN ISO 5048. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Pásové dopravníky s nosnými válečky. Výpočet výkonu a tahových sil*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- ČSN 02 2562. *Pera těsná s mezními úchylkami šířky e7 nebo h9*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- ČSN 01 4809. *Výpočet řetězových převodů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1969.
- ČSN 26 0605. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladu – Bezpečnostní předpisy pro PD*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- ČSN 441342: *Koks. Třídící zkouška zrnění nad 10 mm*. Praha: Český normalizační institut, 1995.

Seznam příloh v elektronické podobě:

CER-2018-01	Pojízdný dopravník
CER-2018-02	Poháněcí stanice
CER-2018-03	Buben poháněcí B1000x400x70
K-CER-2018-01	Pojízdný dopravník
K-CER-2018-02	Poháněcí stanice
K-CER-2018-03	Buben poháněcí B1000x400x70